

Teollisen internetin vaikutus tehtaiden käyttöasteeseen

**The effect of industrial internet of things on capacity
utilization rate**

Kandidaatintyö

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Jere Kuolimo	
Työn nimi: Teollisen internetin vaikutus tehtaiden käyttöasteeseen	
Vuosi: 2021	Paikka: Lappeenranta
Kandidaatintyö. LUT-yliopisto, Tuotantotalous. 31 sivua, 8 kuvaa ja 1 liite Tarkastaja: Sini-Kaisu Kinnunen	
Hakusanat: Omaisuu denhallinta, kapasiteetin käyttöaste, teollinen internet, tulevaisuuden tehta at, käyttöomaisuus	
Keywords: Asset management, capacity utilization rate, Industrial internet, Smart factories, Future factories, fixed assets, physical assets	
<p>Tämän työn tarkoituksena on tutkia ja analysoida teollisen internetin vaikutusta tehtaiden käyttöasteeseen. Tavoitteena on tunnistaa tehtaiden käyttöasteeseen vaikuttavia tekijöitä sekä tutkia kuinka kyseisiin tekijöihin pystytään vaikuttamaan teollisen internetin mahdollistamalla teknologisilla ratkaisuilla.</p> <p>Työ aloitetaan tarkastelemalla omaisuudenhallinnan sekä tehtaan kapasiteetin käsitteitä. Tarkastelun avulla pyritään luomaan pohjaa, johon teollisen internetin tarjoamia uusia toimintatapoja voidaan sovittaa. Työn edetessä teollisen internetin tarjoamia mahdollisuuksia peilataan aiemmin esille nousseisiin ongelma kohtiin.</p> <p>Työn tulokset osoittavat, että tehtaiden kapasiteetin käyttöaste muodostuu kyvykkyydestä sekä tuotannon kokonaistehokkuudesta. Parantamalla kyvykkyyttään sekä kokonaistehokkuutta tehta at voivat tavoitella parannusta myös käyttöasteeseen. Teollinen internet tulee muuttamaan tehtaiden toimintaa monilla osa-alueilla, joten sen avulla voidaan myös tavoitella parempaa kapasiteetin käyttöastetta. Teollisen internetin avulla tehtaiden toiminnasta voi tulla tulevaisuudessa turvallisempaa, hajautetumpaa sekä tehokkaampaa. Tulevaisuuden tehtaissa työntekijöiden roolien voidaan odottaa muuttuvan</p>	

suorittavista rooleista analyyttisempiin ja suunnittelevampiin rooleihin. Teollisen internetin luoman datan avulla omaisuudenhallinnan näkökulmasta voidaan luoda tulevaisuudessa parempia päätöksiä, sillä tietoa koneiden toiminnasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä on laajemmin saatavilla kuin koskaan aiemmin.

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	3
1.1	Tavoitteet ja tutkimuskysymykset	4
1.2	Työn rajausta ja menetelmät	4
2	Omaisuuksenhallinta	5
2.1	Omaisuuksenhallinnan vaikutus yrityksen kilpailukykyyn	7
2.2	Omaisuuksensläjit	8
2.3	Käyttöomaisuus	10
3	Kapasiteetin käyttöasteeseen vaikuttavat tekijät	12
3.1	Yrityksen kyvykkyys	12
3.2	Teollinen internet tuotantolaitteiden optimoimisessa	15
3.3	Käytettävyyden parantaminen	17
3.4	Tuotannon laadun parantaminen	20
3.5	Toiminta-asteen parantaminen	20
3.6	Työntekijät ja teollinen internet	21
4	Teollinen internet tulevaisuudessa	24
4.1	Teollisen internetin vaikutus omaisuuksenhallintaan	24
4.2	Älykkäät tehtaot	25
4.3	Haasteet teollisen internetin kehityksessä ja implementoinnissa	27
5	Johtopäätökset	29
	Lähteet	32
	Liite	

1 JOHDANTO

Neljäs teollinen vallankumous eli Industry 4.0 tuo mukanaan valtavasti uusia mahdollisuuksia ja haasteita teollisuudelle. Yksi suurimmista teemoista vallankumouksessa on teollinen internet. Teollinen internet mahdollistaa koneiden ja laitteiden yhteistyön ja kommunikoinnin ilman ihmistä. Suurin kysymys yrityksille onkin, kuinka tätä voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti yrityksen tarpeisiin. (Collin, Saarelainen 2016)

OmaisuuDENhallinnan näkökulmasta teollisen internetin tekee mielenkiintoiseksi sen datakeskeisyys. Dataa voidaan saada reaaliaikaisesti huomattavasti tarkemmin ja monipuolisemmin kuin mitä aikaisemmin ollut mahdollista (pwc 2015). Kunnossapitosuunnitelmien laatiminen on perinteisesti pohjautunut koneisiin tehtyihin tarkastuksiin sekä koneen historiaan, eikä koneen sen hetkistä kuntoa ole pystytty ottamaan tarkasti huomioon, ilman koneen fyysistä tarkastelua (Johnson 2002 s.11-13). Sensorien avulla koneen reaaliaikainen tila voidaan ottaa huomioon omaisuudenhallinnassa, joka tarjoaa mahdollisuuden paremmille päätöksille.

Asiat, jotka voidaan ”älyllistää” ovat omaisuutta, jota yrityksen pitää pystyä hallitsemaan tehokkaasti ja suunnitellusti. Teollisen internetin avulla omaisuudesta saatu data vaikuttaa suuresti siihen, miten omaisuutta tulevaisuudessa hallitaan. Uudet teknologiat mahdollistavat vastuun siirtymistä enemmän koneille ja laitteille esimerkiksi kunnossapidon seuraamisen suhteen. Tämä asettaa omaisuudenhallinnalle muutospaineita, sillä korvaamalla vanhoja menetelmiä voidaan saada merkittävää hyötyä. Omaisuudenhallinta on laaja-alaista ja koneista saatavasta datasta on hyötyä sen joka osa-alueella. On vain tiedettävä se, että millaista dataa halutaan sekä mihin sitä aiotaan käyttää.

Tieto tukee päätöksiä, joten jos yritysjohdolla on käytössään enemmän, tarkempaa ja ajantasaisempaa tietoa voi se näkyä parempina päätöksinä yrityksessä. Yritykselle tavoiteltava asia on tuottaa mahdollisimman suurella käyttöasteella. Korkean käyttöasteen saavuttamiseksi on tehtävä tietoisia valintoja ja päätöksiä, jotka heijastuvat tehtaan toimintaan. Teollisen internetin avulla näitä päätöksiä voidaan tehdä eri näkökulmista kuin aiemmin. Kerätyn datan avulla tulevaisuudessa voidaan päätösten seurauksia simuloida ja analysoida tarkemmin ennen niiden käytäntöön panoa.

Teollisen internetin implementointi tuotantoympäristöön voi vaikuttaa myös epäsuorasti tehtaan tehokkuuteen. Työturvallisuuteen ja ekologisuuteen panostamalla yritykset voivat säästää tuotannon kuluttamia resursseja ja tuotannon kustannustehokkuutta. Jos sama määrä lopputuotetta voidaan tuottaa pienemmällä määrällä tuotantopanoksia, voidaan tehtaan katsoa toimivan tehokkaammin.

1.1 Tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tämän työn tavoitteena on tutkia teollisen internetin tarjoamia mahdollisuuksia valmistavassa teollisuudessa koneiden ja laitteiden kautta. Tutkimuksen pääpainona on selvittää kriittisimpiä tekijöitä tuotannossa, joihin vaikuttamalla tuottavuutta ja käyttöastetta voidaan parantaa. Työssä pyritään tuomaan esille sekä teoreettisia ratkaisuja, kuin myös jo kehitteillä olevia teknologioita. Työn lopputuloksena saadaan muodostettua vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- *Kuinka teollisen internetin avulla voidaan saavuttaa käyttöomaisuudelle korkeampi käyttöaste tuotantolaitoksissa?*
- *Kuinka teollinen internet tulee muuttamaan omaisuudenhallintaa tulevaisuudessa?*

1.2 Työn rajaus ja menetelmät

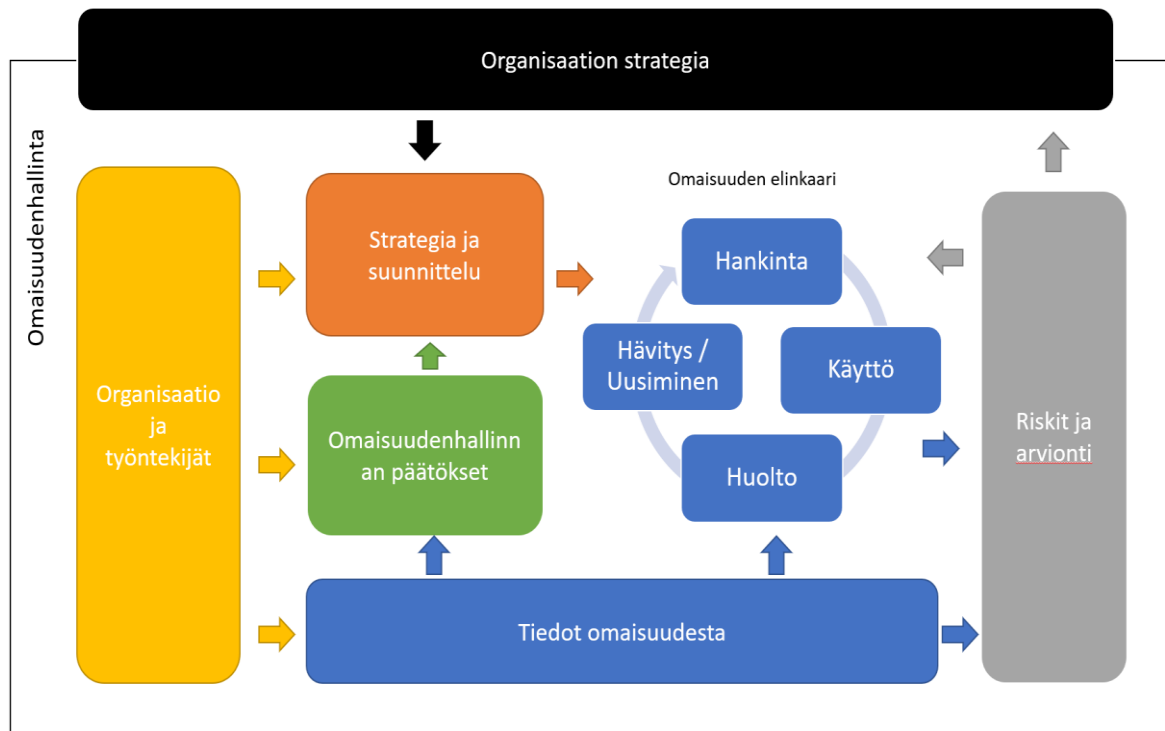
Työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, jonka lähteinä on käytetty alan kirjallisuutta, tieteellisiä artikkeleita, konferenssijulkaisuja sekä standardeja liittyen omaisuudenhallintaan. Käsiteltävä aihe on verrattain uusi, joten kirjallisuutta ja tutkimuksia on saatavilla rajoitetusti. Läpimurrot alalla voivat toimia yritykselle kilpailuetuna, jolloin ei ole yrityksen etujen mukaista julkaista tutkimustietoa vapaasti saataville.

Työ on rajattu käsittelemään yrityksen omaisuuslajeista vain käyttöomaisuutta sekä sen linkaaren käyttövaihetta. Käyttövaiheen tarkastelussa pääpaino on omaisuuden käyttöasteen parantamisessa, niin käytön aikana kuin myös omaisuudenhallinnan kautta.

2 OMAISUUDENHALLINTA

Tässä luvussa käsitellään omaisuudenhallintaa, sen vaikutusta yritysten toimintaan sekä tarkastellaan tarkemmin käyttöomaisuuden ominaisuuksia. Omaisuudenhallinta on PAS 55-1 standardin mukaan suunniteltua toimintaa, jolla yritys pyrkii hallitsemaan omaisuuttaan mahdollisimman kestävästi ja kustannustehokkaasti läpi omaisuuden elinkaaren. Omaisuudenhallinnan tavoitteena on mahdollistaa yrityksen strategian toteutuminen omaisuuden näkökulmasta, eli toisin sanoen pyrkiä maksimoimaan yrityksen ydintoiminnan onnistuminen. (British Standards Institution 2008)

Lloyd (2019 s. 1) toteaa, että omaisuudenhallinnan tärkein tehtävä on sitoa yhteen varat, riskit ja tehokkuus yrityksissä, joiden toiminta pohjautuu fyysiseen omaisuuteen. Tällaisia yrityksiä ovat esimerkiksi tehtaat sekä kuljetusliikkeet, joissa arvonaluonti perustuu koneisiin, joiden elinkaaret ovat pitkiä ja rahallinen arvo usein suuri. Omaisuudenhallinta on tärkeä, yrityksen eri osa-alueet yhteen sitova toiminto, joka usein jää vähemmälle huomiolle, sillä sen vaikutusta on vaikea mitata. Kuvassa 1. on esitetty IAM:in (Institution of Asset Management) omaisuudenhallinnan konsepti yrityksissä. Kuvasta voidaan havaita, kuinka omaisuudenhallinta ja siihen osallistuvat henkilöt toimivat organisaation strategian mahdollistajana.



Kuva 1. Omaisuu denhallinta organisaatiossa (The Institute of Asset Management 2015 s. 16)

Omaisuu denhallinnan tueksi on kehitetty eri malleja omaisuu denhallinnanjärjestelmistä, jotka vaihtelevat standardeittain. Yritysten on tärkeää kehittää oma mallinsa omaisuu denhallintaan, sillä jokainen yritys on erilainen ja kriittisimmät menestykseen vaikuttavat omaisuuslajit vaihtelevat yritys- sekä toimialakohtaisesti.

Omaisuu denhallintajärjestelmiä on luotu selkeyttämään yritysten omaisuu denhallintaa. Yritykset voivat hyödyntää omaisuu denhallintajärjestelmiä tavoitellessaan organisaation eri osien toimintojen yhtenäistämistä sekä mahdollisimman suuria hyötyä omaisuudestaan. PAS-55 standardin esittelemä omaisuu denhallintajärjestelmä koostuu seuraavista asioista: käytännöistä, strategiasta, tavoitteista, suunnitelmasta sekä toimista, joilla yritys tavoittelee omaisuu denhallinnan jatkuvaa kehitystä sekä implementointia. (British Standards Institution 2008)

Omaisuu denhallintajärjestelmän tehtävänä on tukea yrityksen strategian toteutumista, joten sen on oltava lähtökohtana järjestelmän kehittämisessä. Erilaiset liiketoimintastrategiat vaikuttavat esimerkiksi tavoitteisiin, joihin pyritään omaisuu denhallinnalla. Yrityksen

omaisuudenhallintajärjestelmää on kehitettävä jatkuvasti, sillä sen tavoitteet saattavat muuttua esimerkiksi yrityksen strategian muuttuessa. (British Standards Institution 2008)

2.1 Omaisuudenhallinnan vaikutus yrityksen kilpailukykyyn

Onnistunut omaisuudenhallinta on edellytys yrityksen kilpailukyvyyn maksimoinnille. Kattavalla ja huolellisesti suunnitellulla omaisuudenhallinnalla yritys saa edellytykset seurata ja jatkuvasti kehittää omaisuuden käyttöä sekä uuden omaisuuden hankintaa. Heikko omaisuudenhallinta voi johtaa yrityksen kannattavuuden heikkenemiseen esimerkiksi vanhentuneiden ja huoltamattomien koneiden myötä. Huonosti kontrolloitu laitekanta voi altistaa työntekijät työturvallisuusriskeille tai aiheuttaa suunnittelemattomia tuotantoseisokkeja. (Hastings 2021 s.17)

Jos omaisuudenhallintaa laiminlyödään, voi se johtaa omaisuuden kohdalla kuolemanspiraaliin. Hastings käyttää kuolemanspiraali -termiä kuvaamaan tilannetta, jossa kunnossapitoa aletaan laiminlyömään ja pienetkin korjaukset jätetään tekemättä. Kumuloituvat viat voivat johtaa äärimmäisessä tapauksessa lopulta tilanteeseen, jossa kone hajoaa korjauskelvottomaksi tai sattuu vakava onnettomuus. Lievemmissä tapauksissa laiminlyönti saattaa aiheuttaa odottamattomia huoltokatkoja sekä tuotannon tehottomuutta. Kuolemanspiraali on usein seurausta budjettileikkauksista tai vaaditun budjetin aliarviointia seuranneesta pienestä kunnossapidon budjetista. (Hastings 2021 s.17-18)

Heikko tai olematon omaisuudenhallinta yrityksessä voi johtaa esimerkiksi heikkoon tiedonkulkuun organisaatiossa, kohonneisiin kustannuksiin tai tehokkuuden laskuun (Hastings 2021 s. 14). Kohonneet kustannukset voivat syntyä esimerkiksi siitä, ettei tieto koneiden huollontarpeesta saavuta ikinä organisaation päättäviä tahoja, tiedon jäädessä vain koneen käyttäjien tietoon. Optimaalista olisi, jos yrityksen korkeimmalla tasolla olisi ajantasaista tietoa koneiden kunnosta, jotta tulevia elinkaaren liittyviä ratkaisuja, kuten huoltoja tai uusimista voitaisiin suunnitella. (Wireman 2015 s. 125-130)

Omaisuudenhallinnan avulla yritys saa tietoa yritystoiminnan kannalta kriittisimmistä omaisuuksista, niiden elinkaaresta sekä vaikutuksesta kapasiteettiin. Tätä tietoa voidaan hyödyntää kustannustehokkuutta tavoiteltaessa koko omaisuuden elinkaaren ajalta. Kun yritys

on tietoinen omaisuuden koko elinkaarenkustannuksista, on esimerkiksi kuoleman spiraalin kaltaisen tilanteen ennakoiminen helpompaa. (Too 2010)

Onnistunut omaisuudenhallinta voi tuottaa yritykselle lisäarvoa. Yritys voi esimerkiksi vaikuttaa brändi-imagoonsa omaisuudenhallinnan avulla. Hyödyntämällä ekologisia ja kestäviä ratkaisuja esimerkiksi energian käytön suhteen, yritys voi saada positiivista näkyvyyttä asiakkaiden tai yhteistyökumppaneiden silmissä (International Organization for Standardization 2014 s. 2).

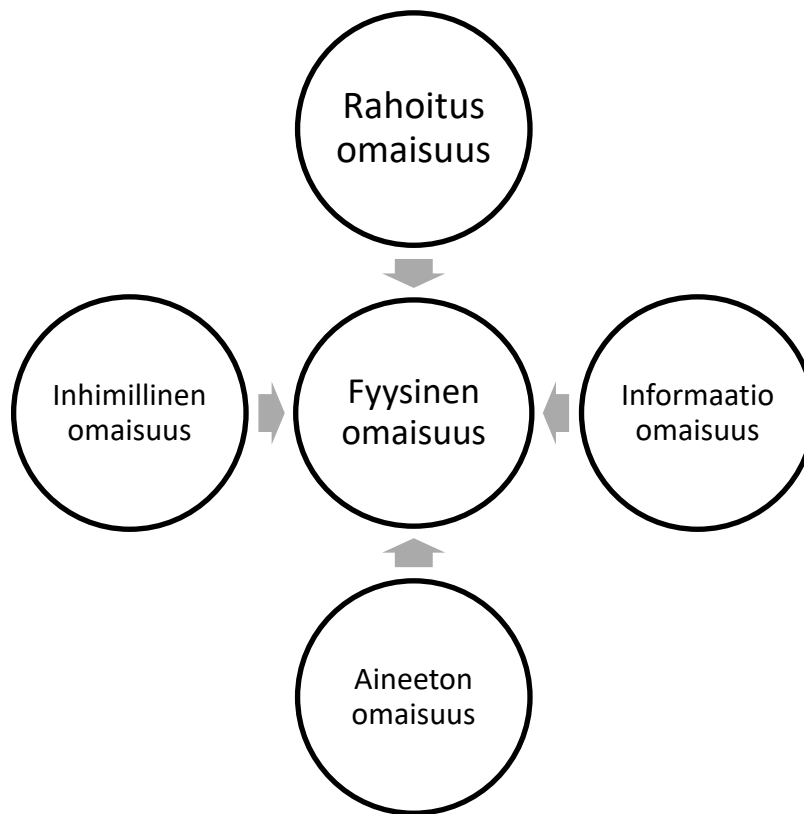
Vihreät eli ekologiset ratkaisut yrityksen toiminnassa sekä markkinoinnissa nostavat yrityksen arvoa. Arvonnousu on kuitenkin yleensä pienempää, kuin arvon mahdollinen aleneminen yrityksen huonojen ekologisten käytäntöjen tullessa julki (Sadovnikova, Pujari 2017).

Riskienhallinta on suuri osa omaisuudenhallintaa. Riskien havaitseminen, ennakoiminen ja välttäminen on tärkeää, jotta yrityksen kilpailukyky ei kärsi riskien johdosta. Turvallinen työympäristö, hyvin huolletut laitteet sekä nopea tiedonkulku ovat asioita, jotka alentavat omaisuuteen tai omaisuudesta koituvia riskejä. Onnistuneella omaisuudenhallinnalla voi olla positiivinen vaikutus riskienhallinnassa. (Pasman 2021)

2.2 Omaisuuslajit

ISO 55000 standardin mukaan yrityksen omaisuus on jotain, jolla on arvoa tai potentiaalista arvoa yritykselle. Omaisuudenhallinnalla tarkoitetaan omaisuuden arvon realisoimista yrityksen suunnitellulla toiminnalla. (International Organization for Standardization 2014)

ISO standardin määritelmä omaisuudelle on laaja. Jotta erilaisia omaisuuksia voidaan käsitellä niiden erot huomioiden, on omaisuudet kategorisoitava. Hastings (2021) jaottelee yrityksissä usein tunnistettavat omaisuustyypit viiteen eri kategoriaan kuvan 2. mukaan. Muut omaisuuslajit tukevat fyysisen omaisuuden avulla tapahtuvaa arvonluontia yrityksissä, joissa fyysinen omaisuus on strategian keskiössä, kuten esimerkiksi teollisuudessa.



Kuva 2. Omaisuuslajit (Hastings 2021)

Fyysinen omaisuus on omaisuutta, joka tuottaa yritykselle arvoa fyysisellä olemassaololla, kuten esimerkiksi koneet, rakennukset sekä laitteet.

Rahoitusomaisuus on omaisuutta, johon kuuluvat yrityksen varat ja niihin verrattava omaisuus.

Inhimillinen omaisuus pitää sisällään yrityksen henkilöresurssit eli työntekijät.

Informaatio omaisuus on yrityksen ”omistamaa” tietoa, jolla on arvoa yritykselle.

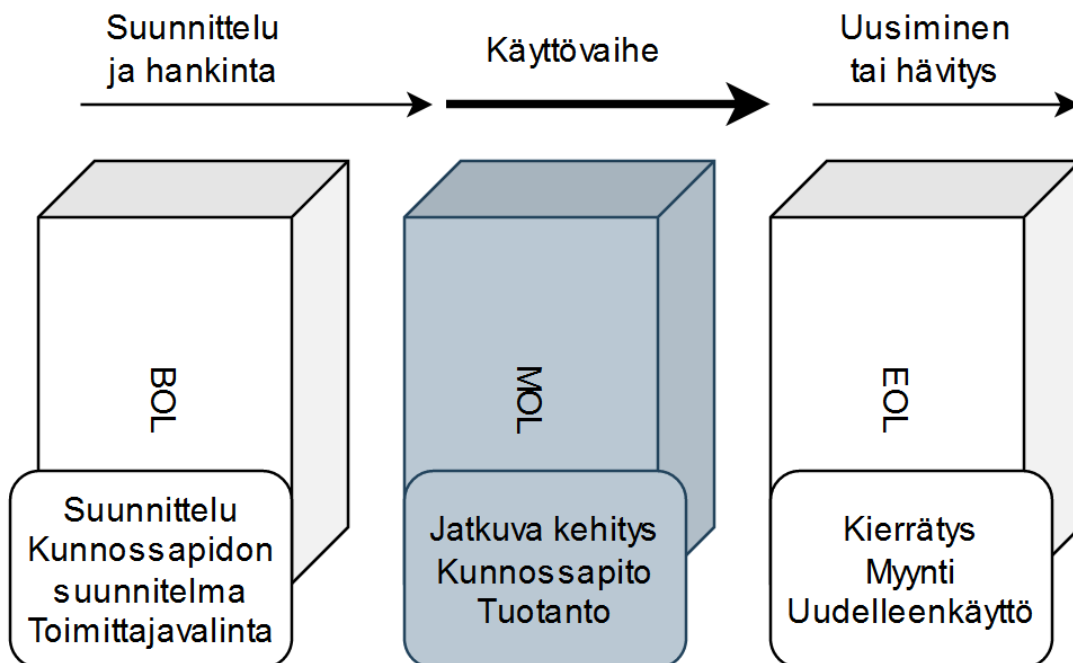
Aineeton omaisuus on omaisuutta, jota ei ole olemassa fyysisesti mutta luo yritykselle arvoa, kuten esimerkiksi aineettomat oikeudet tai saavutetut asiakassuhteet.

Tässä työssä käsittelyn pääpainona on tuotantokäytössä olevaa fyysinen omaisuus, eli tehtaiden käyttöomaisuus. Tehtaissa käyttöomaisuuteen kuuluu tehtaan käytössä olevat koneet ja laitteet. Käyttöomaisuuteen tehokkaaseen käyttöön liittyy myös vahvasti muut omaisuuslajit, kuten esimerkiksi informaatio omaisuus. Tämän johdosta työn voidaan katsoa käsittelevän välillisesti myös muita omaisuuslajeja.

2.3 Käyttöomaisuus

Käyttöomaisuus on määritelmän mukaan omaisuutta, joka on tarkoitettu liiketoiminnan pysyvään käyttöön (Pwc 2020). Teollisuusyrityksissä käyttöomaisuus eli fyysinen omaisuus on tärkein omaisuuslaji. Siihen kuuluvat esimerkiksi yrityksen koneet ja laitteet. Tärkeitä yrityksen kannalta näistä tekee niiden välttämättömyys liiketoiminnan kannalta. Tuotantolaitteet luovat yritykselle arvoa mahdollistamalla myytävien tuotteiden valmistamisen, toisin kuin palvelualalla, jossa arvo luodaan usein ihmisen kautta, ilman koneita tai muuta fyysistä omaisuutta.

Käyttöomaisuudella on Hastingin (2021) mukaan kuusi elinkaarenvaihetta. Elinkaari voidaan jakaa kolmeen pääosaan: elinkaaren alkuun (BOL) joka pitää sisällään suunnittelun, valinnan sekä hankinnan, keskiosaan (MOL) joka pitää sisällään käytön sekä kunnossapidon sekä loppuun (EOL) joka pitää sisällään omaisuuden hävittämisen. Kuvassa 3. on esitetty elinkaaren vaiheet aikajärjestyksessä sekä jokaisen elinkaaren vaiheen tärkeimmät toimenpiteet. Tässä työssä keskitytään elinkaaren käyttövaiheeseen, joka on kuvassa tummennettuna.



Kuva 3. Elinkaaren vaiheet (mukailen Terzi, Bouras et al. 2010 s.365)

Elinkaari alkaa tiettyyn liiketoiminnan tarpeeseen vastaavan laitteen suunnittelulla. Suunnittelun jälkeen arvioidaan eri suunnitelmien ja toteutuksien mahdolliset heikkoudet ja vahvuudet. Paras vaihtoehto riippuu yrityksen arvoista. Esimerkiksi kuljetusyritys voi pohtia arvostavatko he uusissa ajoneuvoissa enemmän ympäristöystävällisyyttä, alhaista hintaa vai ulkonäköä. Hankinnan jälkeen alkaa elinkaaren käyttövaihe, joka on ajaltaan pisin verrattuna muihin vaiheisiin. Omaisuus eli tuote siirtyy yrityksen käyttöön, jossa sen avulla pyritään tuottamaan arvoa yritykselle. Käytön ohella tärkeää on kunnossapito, jotta omaisuus pysyy mahdollisimman tuottavana sekä riskittömänä yritykselle. Kun yritys päättää luopua omaisuudesta, joko sen elinkaaren päätyttyä tai sen jäädessä tarpeettomaksi yritykselle, saavutaan omaisuuden elinkaaren viimeiseen vaiheeseen eli joko uusimiseen tai hävittämiseen. (Hastings 2021)

Hankinta aiheuttaa yritykselle kustannuksia koko elinkaaren ajan, vaikka arvonluonti tapahtuukin vain käytön aikana. Tämän johdosta laitteen elinkaaren aikana riskien laatu sekä vakavuus vaihtelevat merkittävästi. Elinkaaren alkuvaiheessa suurimpia riskitekijöitä ovat esimerkiksi hankinnan onnistuminen kattamaan liiketoiminnan tarpeet, kun taas elinkaaren käyttövaiheessa riskinä voidaan pitää laitteen hajoamista. Yrityksen onkin pyrittävä selvittämään omaisuutensa riskit ja kustannukset koko elinkaaren ajalta, jotta se osaa varautua niihin ja täten minimoida riskiä. (Crespo Márquez, Macchi et al. 2020 s. 18-22)

3 KAPASITEETIN KÄYTTÖASTEeseen VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Tämän luvun tarkoituksena on muodostaa käsitys tehtaiden kapasiteetista sekä sen käyttöasteeseen vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi tutkitaan sitä, kuinka teollisen internetin avulla voidaan vaikuttaa näihin tekijöihin.

Raganin (1976) mukaan kapasiteetilla tarkoitetaan sitä tuotannon määrää, joka on mahdollista saavuttaa tietyssä ajassa nykyisillä tuotantopanoksilla. Raganin mukaan kapasiteetin mittaamiseen käytetty aika on ongelmallinen, sillä normalisoitu tuotantoaika vaihtelee yrityksittäin ja usein myös yrityksen sisällä. Normaalin tuotantoajan laskemiseen käytetään apuna esimerkiksi suunniteltuja työtunteja ja tuotantolaitteille suunniteltuja huoltoja. Jos työvoimaa tai toimivia koneita ei ole, ei myöskään käytettävää kapasiteettia ole. Swamidassin (2000 s. 78) mukaan kapasiteetti tarkoittaa yrityksen, toimipisteen, koneen tai työntekijän maksimaalista tuotantomäärää. Yrityksen on tarpeen tunnistaa käytettävissä oleva todellinen maksimikapasiteetti, sillä se on oleellinen osa tuotantosuunnitelmaa. Yrityksen todellinen maksimikapasiteetti on usein teoreettista maksimikapasiteettia pienempi, sillä saavuttaakseen teoreettisen maksimin olisi tuotannon toimittava täydellisesti. Jos suunniteltu tuotanto ylittää käytettävissä olevan kapasiteetin, ei suunnitelma ole realistisesti toteutettavissa. Alimitoitettu kapasiteetin käyttö tarkoittaa taas hukkaa, joka aiheuttaa yritykselle kuluja.

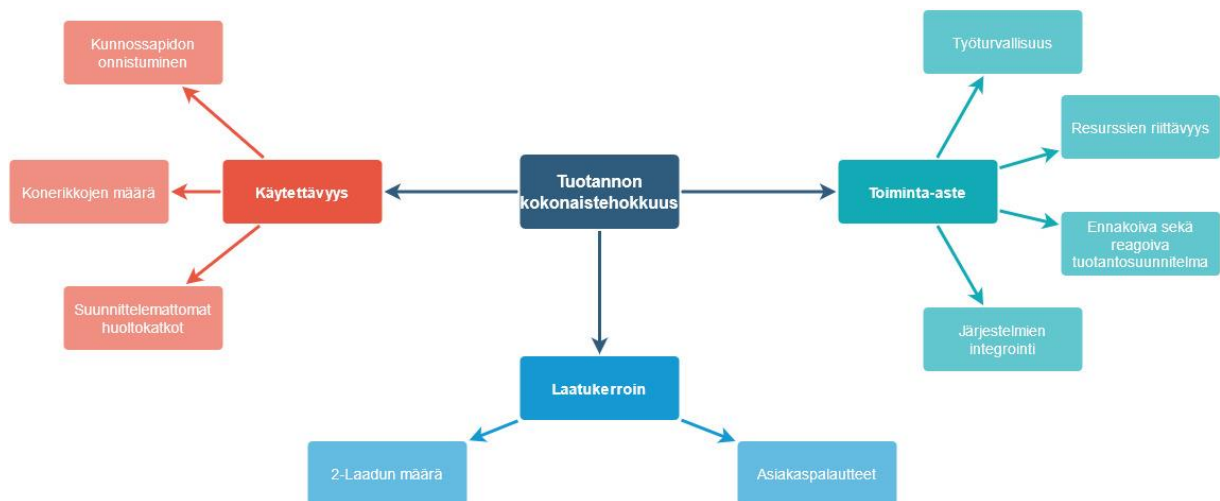
Kapasiteetin käytön tehokkuutta mitataan kapasiteetin käyttöasteella. Käyttöaste saadaan vertaamalla toteutuneita käyttötunteja vertailtavaan kokonaisaikaan. Käyttötunteja pienentää esimerkiksi raaka-aineiden loppuminen, markkinatilanteen heikkeneminen tai koneen joutoaika. (PSK 6201 s.4)

3.1 Yrityksen kyvykkyys

Kyvykkyys tarkoittaa systeemin mahdollisuutta saavuttaa sille asetetut tavoitteet, joka osa-alueella. Siihen sisältyy kaikki systeemin osat, kuten esimerkiksi laitteet, henkilöstö, tukitoiminnot ja palvelut. Kyvykkyuden eri osa-alueet on hyvä tunnistaa, sillä vain optimoimalla koko systeemiä voi kyvykkyyttä tehokkaasti nostaa. Laitteilla on absoluuttiset rajansa, joiden avulla yritys voi määrittää maksimikapasiteettinsa. Kyvykkyys sitoo yhteen maksimikapasiteetin saavuttamiseen vaadittavat tekijät. Parantamalla kyvykkyyttään, yritys parantaa myös kapasiteetin käyttöastettaan. (Hastings 2021 s. 65-68)

Tuotannon kokonaistehokkuus on tavoitemuuttuja, jonka avulla voidaan seurata tuotannon kyvykkyyttä. Se muodostuu käytettävyyden, toiminta-asteen sekä laatueroimen tulosta. Käytettävyys mittaa kohteen kykyä suoriutua sille asetetusta tehtävästä olettaen, että käytettävyteen ei vaikuta esimerkiksi ulkoisten resurssien niukkuus. Käytettävyttä voidaan mitata joko kokonaisista tuotantojärjestelmistä tai yksittäisistä koneista. (PSK 6201 s.5)

Toiminta-aste mittaa toteutunutta tuotantomäärää suhteessa kapasiteetin sallimaan maksimituotantomäärään käyntiaikana. Toiminta-asteeseen heijastuu siis tuotannossa esiintynyt hukka. Laatueroin muodostuu laadullisesti hylätyn tuotannon suhteesta kokonaistuotantoon. (PSK 6201 s.7)



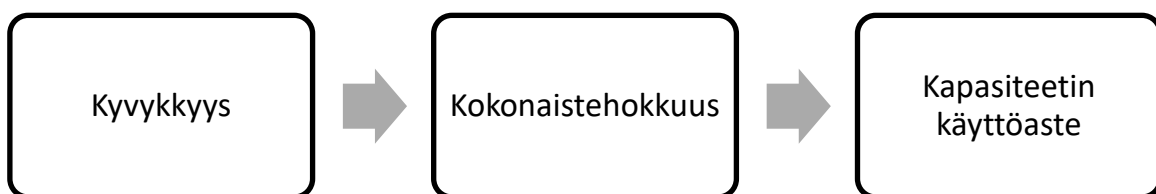
Kuva 4. Tuotannon kokonaistehokkuus (PSK 6201)

Kuvassa 4 on esitetty kootusti tuotannon kokonaistehokkuuden osatekijät sekä esimerkkejä osatekijöihin vaikuttavista muuttujista sekä toimenpiteistä. Mitattavat suureet sekä tekijät vaihtelevat yrityksittäin sekä toimialoittain. Esimerkiksi työturvallisuus voi olla pienemmässä roolissa tehtaassa, jossa automaatioaste on korkea eivätkä työntekijöiden sairauspoissaolot vaikuta koneiden toiminta-asteeseen.

Liitteessä 1 on esitetty yleisellä tasolla yrityksen kyvykkyyteen vaikuttavia tekijöitä. Tekijöitä ovat esimerkiksi koulutus, työntekijät sekä johtaminen. Tekijät vaikuttavat useissa tapauksissa

vahvasti toisiinsa, joten yhden tekijän merkitystä tuotannolle on vaikea mitata tarkasti. Tekijöiden monipuolisuus ja erilaisuus asettaa haasteita omaisuudenhallinnalle, sillä omaisuudenhallinnan suunnitelmassa jokainen tekijä on pyrittävä huomioimaan. Pelkällä tuotantolaitteen optimoinnilla ei voida saavuttaa kehitystä yrityksen kokonaistehokkuuteen, vaan jokaista osa-aluetta on pyrittävä kehittämään, sillä kyvykkyys on kaikkien näiden tekijöiden summa. (Hastings 2021 s.65-66)

Yrityksen kokonaistehokkuus on yrityksen kyvykkyuden mittari. Kyvykkyuden eri tekijät voivat vaikuttaa samalla moneen eri kokonaistehokkuuden osa-alueeseen. Esimerkiksi työntekijöiden koulutukseen panostamalla voidaan saavuttaa edistystä työturvallisuudessa sekä työntekijöiden tarkkaavaisuudessa, joka heijastuu tuotannon laatuun tai koneiden oikeanlaiseen käyttöön vähentäen konerikkoja. Yrityksen kapasiteetin käyttöasteen voidaankin ajatella muodostuvan kuvassa 5 esitetyn prosessin kaltaisesti, alkaen aina kyvykkyuden eri osatekijöistä. Parantaakseen prosessin lopputulosta, eli kapasiteetin käyttöastetta on yrityksen tunnistettava sen kyvykkyydestä tai kokonaistehokkuudesta kriittisiä tekijöitä, joita muuttamalla voidaan saavuttaa parannusta käyttöasteeseen.



Kuva 5. Kyvykkyuden sekä kokonaistehokkuuden vaikutus kapasiteetin käyttöasteeseen

3.2 Teollinen internet tuotantolaitteiden optimoimisessa

Teollinen internet luo tulevaisuudessa uusia mahdollisuuksia yrityksen kyvykkyyden, toiminta-asteen sekä kokonaistehokkuuden parantamiseen. Teollisen internetin keskiössä on data, jota saadaan fyysisestä maailmasta. Datan avulla koneet voidaan ”älyllistää” keskustelemaan keskenään ja tekemään itsenäisiä päätöksiä. Industrial Internet Consortiumin määritelmän mukaan teollinen internet yhdistää älykkäät koneet ja laitteet sekä niitä käyttävät ihmiset. Tämän johdosta syntyvän datan edistyneen analysoinnin avulla voidaan parantaa päätöksentekoa sekä tuottaa mukautuvaa liiketoimintaa. (Juhanko, Jurvansuu et al. 2015 s.10-11, IIC 2021)

Teollisen internetin mahdollisuuksien hyödyntäminen on muuttunut ajankohtaisemmaksi, sillä muutoksen kustannukset ovat viime vuosina kehityksen myötä laskeneet. Teollisen internetin eri osa-alueiden kuten, laitteistojen sekä datan varastoinnin hintojen laskusuhdanne tarkoittaa sitä, että teollisuudessa teollisen internetin implementointi on entistä houkuttelevampaa yrityksille. (Collin, Saarelainen 2016)

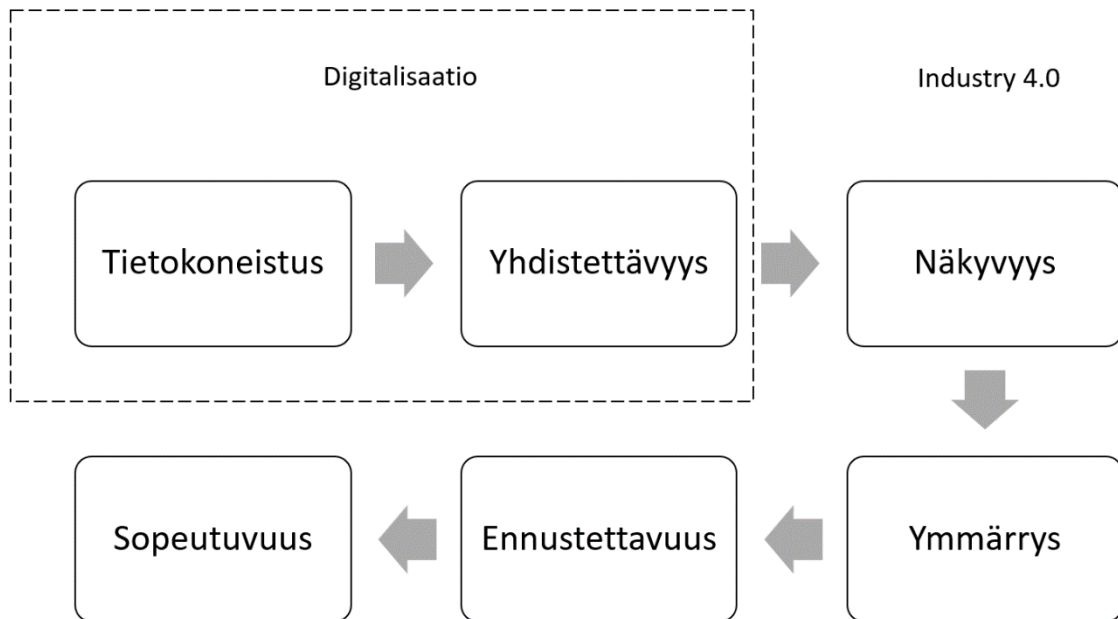
Teollisen internetin avulla ei lähtökohtaisesti pyritä kasvattamaan tuotantovolyymiä tai liikevaihtoa, vaan tehostamaan toimintaa ja sen myötä kasvattamaan yrityksen katetta. Toiminnan tehostaminen tarkoittaa toimimista korkeammalla käyttöasteella, raaka-aineiden tai energian säästöä, sitoutuneen pääoman alenemista tai valmistusprosessin tehostumista. (Juhanko, Jurvansuu et al. 2015 s.21-22)

Teollisen internetin mahdollistamia sovelluksia on lukemattomia ja uusia innovaatioita syntyy jatkuvasti. Sovellusalueita on vaikeaa eritellä toisistaan, sillä ne usein vaativat toisia toimiakseen. Esimerkkejä yrityksissä käytössä olevista sovellusalueista ovat esimerkiksi:

- Ennakoiva huoltopalvelu
- Datapohjainen palveluliiketoiminta
- Älykäs tehdas ja autonomiset tuotteet
- Etävalvonta, etähallinta ja optimointi (Collin, Saarelainen 2016)

Teollinen internet on suurin tekijä neljännessä teollisessa vallankumouksessa eli Industry 4.0:ssa. Digitalisaation avulla kehittyivät automatisoidut laitteet sekä niiden yhdistäminen

toisiinsa internetin avulla. Tulevaisuudessa teollisen internetin avulla tätä kehitystä voidaan viedä eteenpäin eri vaiheissa. Kuvassa 6 on esitetty digitalisaation sekä Industry 4.0 kehityssaskeleet. (Schuh, Anderl, Krüger et al. 2020)



Kuva 6. Industry 4.0 kehityssaskeleet (mukaillen Schuh, Anderl, Krüger et al. 2020 s. 18)

Näkyvyys tarkoittaa teollisen internetin avulla saatua dataa. Datan avulla voidaan tarkastella tehtaan toimintaa reaaliajassa tarkemmin ja monipuolisemmin mitä aiemmin on ollut mahdollista. Teollisen internetin avulla syntyy mahdollisuus integroida eri maissa sijaitsevien tehtaiden tiedot yhteen. Tämä tarjoaa mahdollisuuden yritykselle tarkastella toimintaansa kokonaisvaltaisemmin. Ymmärrys tarkoittaa kerätyn datan käsittelyä ja siitä saadun tiedon ymmärtämistä. Esimerkiksi vertailemalla eri tehtaiden samankaltaisten tuotantolaitteiden tehokkuuden eroavaisuuksia voidaan saada arvokasta tietoa, jonka avulla toimintaa on mahdollista kehittää. Ennustettavuudella tarkoitetaan yrityksen pyrkimystä ennustaa tulevaisuuden tapahtumia historiallisen tiedon pohjalta. Ennustamisen mahdollistaa suuri datan määrä sekä datan analysoiminen esimerkiksi tekoälyn avulla. Viimeinen vaihe on sopeutuvuus, jossa laitteet osaavat automaattisesti sopeutua muuttuneeseen tilanteeseen joko ennustuksen tai sen hetkisen tilanteen johdosta. Sopeutuminen ilmenee käytännössä esimerkiksi

automatisoimalla tuotantosuunnitelman muutoksia tuotantolinjaston laiterikon yhteydessä. (Cortez, Barnstedt 2019, Schuh, Anderl, Krüger et al. 2020)

Datan kerääminen on keskiössä teollisen internetin sovelluksissa. Dataa voidaan kerätä sensorien avulla esimerkiksi ihmisistä, koneista tai ympäristöstä. Sensorien avulla voidaan seurata tuotantoympäristöä sekä yksittäisiä laitteita tai valmistettavia tuotteita. (Ingrao, Evola et al. 2021)

OmaisuuDENhallinnan kannalta teollisen internetin luoma mahdollisuus seurata reaaliaikaisesti koneiden ja laitteiden tilaa luo paljon mahdollisuuksia tehokkaampaan omaisuudenhallintaan. Tehokkuutta tuo päätöksenteossa tarvittavan tiedon tarkkuus sekä ajantasaisuus. Omaisuudesta vastuussa olevien henkilöiden on mahdollista tehdä parempia päätöksiä omaisuuden suhteen esimerkiksi huoltotarpeesta tai käytön aiheuttamista kustannuksista, kun heillä on saatavillaan reaaliaikaista tietoa. (Ingrao, Evola et al. 2021 s. 10-12)

3.3 Käytettävyyden parantaminen

Käytettävyys on tärkeässä roolissa tehtaan kokonaistehokkuudessa. Kunnossapidon onnistuminen on kriittistä laitteiden elinkaaren käyttövaiheessa, sillä laitteen suunnittelemattomat tuotantokatkot aiheuttavat hukkaa tuotannossa. Kunnossapidon onnistumista voidaan mitata eri tunnusluvuilla. Tällaisia tunnuslukuja ovat esimerkiksi suunnittelemattomien huoltokatkosten määrä, huollon kustannustehokkuus sekä työvoiman tehokas käyttö. (Kumar, Galar et al. 2013 s. 240-244)

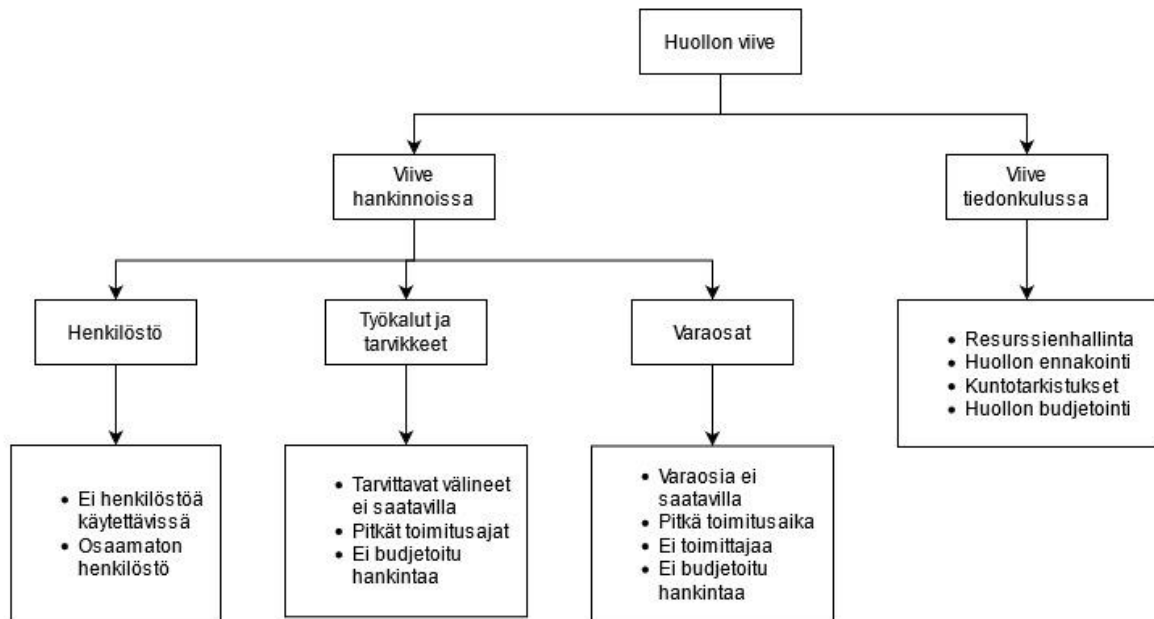
Teollisen internetin avulla käytettävyttä voidaan parantaa tehostamalla kunnossapitoon liittyviä toimenpiteitä. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi suunnitelmien tarkkuuden parantaminen, kunnossapidon tehokkuuden kasvattaminen sekä kustannustehokkuus. Yrityksen tulee tunnistaa omat kyvykkyytensä liittyen käytettävyyden tekijöihin. Tällaisia kyvykkyyksiä ovat esimerkiksi liitteessä 1. esitetyt henkilöstö ja logistiikka. Tunnistamalla kyseisen toiminnan kannalta pullonkauloja tai kriittisiä tekijöitä, voi yritys keskittyä ratkaisuihin, jotka mahdollistavat suuremman käytettävyyden koneille ja laitteille tuotannossa.

Konkreettisia ratkaisuja kunnossapitohenkilöstön tehokkuuden parantamiseksi on tutkittu lisäystä todellisuudesta eri teollisuuden aloilla. Lisätty todellisuus tarkoittaa virtuaalisen tiedon lisäämistä reaaliajassa ihmisen vaistoihin. Useimmiten käytetty vaisto on näkö, johon lisätään

tietoa linssien läpi. Ihminen näkee siis reaali maailman, johon voidaan lisätä linssien avulla lisäinformaatiota esimerkiksi antamaan tietoa koneen lämpötilasta tai muuta dataa. (Carmigniani, Furht et al. 2011)

Lisätyn todellisuuden avulla kunnossapidon kustannustehokkuutta voitaisiin parantaa suoraviivaistamalla henkilöstön toimintaa. Yleinen toimintatapa kunnossapidossa korjauksien ja huoltojen yhteydessä on etsiä työohjeet ja muut työn kannalta relevantit dokumentit tietokannasta tai fyysisinä objekteina. Lisätyn todellisuuden sekä teollisen internetin avulla koneet voisivat jatkossa sisältää kaiken tarpeellisen tiedon sekä viestiä sen vikatilanteen sattuessa suoraan henkilöstölle. Henkilöstö voisi saada informaation viasta sekä työohjeista suoraan lisätyn todellisuuden kautta. (Scheffer, Martinetti et al. 2021)

Logistiikan avulla varmistetaan kunnossapidon onnistuminen. Varaosien saatavuus on kriittinen tekijä kunnossapidossa (Antosz, Ratnayake 2019). Jos tehtaassa ei ole koneeseen vaadittavia varaosia, joudutaan ne hankkimaan ongelman sattuessa, mikä aiheuttaa tuotannon pysähtymisen varaosan hankinnan ajaksi. Teollinen internet tarjoaa ongelmaan ratkaisun älykkään logistiikan sekä jatkuvan datan keräyksen avulla. Kuvassa 7 on esitetty huollon viiveen muodostavat tekijät.



Kuva 7. Huollon viiveen muodostuminen (mukaiillen Antosz, Ratnayake 2019)

Kaikissa viivetapauksissa yhdistävä tekijä on informaation puute, joka aiheuttaa puutostilanteita eri resursseissa. Teollisen internetin avulla analysoimalla reaaliaikaista dataa koneen toiminnasta, sen kunnosta tai varaosien saatavuudesta olisi mahdollista pienentää viiveitä. Analysoimalla dataa koko laitteen elinkaaren ajalta voisi datan käsittelyllä saada tietoa, jonka avulla koneiden hajoamista pystyisi ennakoimaan ja tilanteisiin varautumaan varaosien hankintaa aikatauluttamalla. Tämänkaltaisella toiminnalla voitaisiin pienentää varastoinnin tarvetta sekä varmistaa osien saatavuus.

Tuotantolaitteita voidaan tarkastella joukkoina, kun samankaltaisia laitteita on useita. Tämä mahdollistaa samankaltaisen datan keräämisen monesta eri laitteesta. Tätä dataa analysoimalla voidaan havaita poikkeamia yksittäisten laitteiden toiminnassa ja löytää tuotannon tehokkuutta haittaavia tekijöitä. Yhdistämällä laitekannan hallinta voidaan saavuttaa myös muita etuja, kuten esimerkiksi tuotannon jakaminen laitekannan kesken. Tehdas voi pyrkiä maksimoimaan käyttöasteensa jakamalla tuotantoa automaattisesti esimerkiksi tilanteessa, jossa tuotannossa oleva kone hajoaa. Hajonneen koneen tuotanto voidaan jakaa muille vastaaville koneille, joilla on vielä tuotantokapasiteettia jäljellä. (Al-Dahidi, Di Maio et al. 2016)

3.4 Tuotannon laadun parantaminen

Tuotannon laatukertoimen parantaminen on tehtaille tärkeää. Parantamalla tuotannon laatua vältetään sekundan tuottamisen aiheuttamalta hukalta. Henkilöstöllä on suurin vaikutus valmistuksen eri osa-alueisiin, kuten tuotantoon, tuotannon laatuun sekä kunnossapitoon myös nykyaikaisissa korkean automatisointiasteen omaavissa tehtaissa. Huonoa tuotantoa ilmaantuu erityisen paljon, silloin kun tuotevaihtoja on paljon ja tuotantoerät ovat pieniä. Tämä selittyy sillä, että prosessi paranee ajan mittaan tuotannon aikana. Esimerkiksi väärin kasattu tuotantolinja voi aiheuttaa tuotannon alussa ongelmia, mutta korjaantuu ajan mittaan. Tuotevaihtoista aiheutuvaa laatuhaittaa pyritään pienentämään tuotantosuunnitelmissa, joissa pyritään maksimoimaan tuotantoajat ja minimoimaan tuotantovaihdot, varsinkin tilanteissa, joissa systeemiin joudutaan tekemään muutoksia. (Colledani, Tolio et al. 2014 s. 781-787)

Nykyaikaisissa tehtaissa tuotteiden laadun tarkastaminen tapahtuu automatisoidusti kameroiden ja kuvaprosessoinnin avulla. Haasteeksi on muodostunut prosessointitehon riittävyys tuotantonopeuden kasvaessa. Koneoppimisen avulla tuotantolaitoksilla olisi mahdollisuus opettaa laitteet tunnistamaan vialliset tuotteet, niiden viat sekä mahdolliset korjaukset tuotantolaitteisiin. (Rahmatov, Paul et al. 2019)

Teollisen internetin avulla, korjauksia tuotantoon voidaan tehdä ilman ihmisen avustusta. Toistensa kanssa kommunikoivat laitteet kykenevät välittämään informaatiota toisilleen. Esimerkiksi laaduntarkkailusta saatu informaatio voidaan automatisoidusti välittää valmistavalle laitteelle, joka osaa käsitellä ongelman.

3.5 Toiminta-asteen parantaminen

Koneiden ja laitteiden automatisoinnin myötä yrityksillä on entistä paremmat mahdollisuudet hallita tuotantoprosessin turvallisuutta sekä tehokkuutta. Keskenään yhteydessä olevia koneita on pystyttävä hallitsemaan kollektiivisesti, mikä tarkoittaa painopisteen siirtymistä yksittäisistä koneista koko toimintaympäristön hallitsemiseen. Tämä luo uusia haasteita, sillä tuotantojärjestelmistä tulee laajempia ja monimutkaisempia. (Juhanko, Jurvansuu et al. 2015 s. 24-25)

Tuotannosuunnittelu on tärkeässä roolissa tehtaan tuotannon onnistumisessa. Haasteita tuotannosuunnittelulle luo valmistusprosessin ongelmat, joita ei voida ennakoita.

Tuotantolaitokset voivat tulevaisuudessa paremmin reagoida tuotannossa tapahtuviin ongelmiin ja muutoksiin sekä ennakoida niitä teollisen internetin avulla. Tuotannonsuunnittelun kannalta tärkeimpiä teollisen internetin hyötyjä ovat reaaliaikainen koneiden tilojen seuraaminen, resurssien seuranta ja jäljitys sekä datan kerääminen. Näitä ominaisuuksia hyödyntämällä tuotannonsuunnittelu on tulevaisuudessa tarkempaa, ennakoitavampaa sekä riskittömämpää. (Y. Zhang, W. Wang et al. 2016, Bueno, Godinho Filho et al. 2020)

Uudet tavat käsitellä dataa sekä teollisen internetin luoma mahdollisuus laitteiden keskinäiselle kommunikoinnille on luonut mahdollisuuden syventää tehtaiden integraatiota. Integraatiota voi ilmentyä tehtaan sisällä esimerkiksi eri laitteiden tai osastojen kesken tai ulkoisia tietolähteitä voidaan integroida osaksi tehtaan toimintaa. (Chen 2017)

Tehtaan sisäisen integroinnin avulla tuotantolinjalla voidaan saavuttaa parannuksia käyttöasteeseen. Koneiden ollessa tietoisia prosessien, raaka-aineiden sekä valmistuvien tuotteiden reaaliaikaisesta tilasta, voivat ne sopeutua reaaliaikaisesti ilmeneviin ongelmiin. Puutteet tai muutokset raaka-aineissa sekä puolivalmisteissa voivat pakottaa koneet automaattisesti sopeuttamaan tuotantomääriä tai parametrejä, jotta tuotanto toimii mahdollisimman tehokkaasti ilman tarvetta välivarastoinnille. Tuotantomääriä voidaan joutua sopeuttamaan esimerkiksi tilanteessa, jossa laiterikon takia tuotannossa muodostuu pullonkaula. Pullonkaulan takia normaaleilla tuotantomäärillä välivarastot täyttyisivät puolivalmisteista. Automaattisen säädön avulla puolivalmisteiden tuotanto voi mukautua vastaamaan reaaliaikaista käytössä olevaa kapasiteettia.

Tuotannon ulkopuolista dataa voidaan saada esimerkiksi lämpötilasta, myyntiennusteista tai toimitusketjun osapuolilta. Datan avulla koneet voivat automaattisesti muuttaa toimintaansa ilman ihmisen väliintuloa. Esimerkiksi lämpötilan tai ilmankosteuden noustessa tuotantolaitos voi säätää prosessiaan toimimaan paremmin kyseisissä sääolosuhteissa. Toimitusketjun haasteissa esimerkiksi, jos järjestelmä saa tiedon raaka-aineen toimituksen viivästymisestä, olisi koneiden mahdollista tehdä itsenäisesti muutoksia tuotantosuunnitelmaan.

3.6 Työntekijät ja teollinen internet

Työntekijät ovat valmistavassa teollisuudessa tärkeässä roolissa tehtaan toiminnan kannalta. Työntekijät varmistavat niin prosessin sujumisen, kuin myös koneiden kunnossapidon.

Merkittävänä tekijänä työtaturmat aiheuttavat hukkaa tuotannossa niin menetetyt tuotannon kuin kohonneiden kustannusten muodossa. Teollisen internetin sensoreiden seurannan ei tarvitse olla pelkästään koneissa ja laitteissa, vaan sitä voidaan laajentaa myös työntekijöihin älykkäiden työvaatteiden tai kameroiden muodossa. Älykkäillä työvaatteilla tarkoitetaan vaatteita, jotka sisältävät antureita, jotka mittaavat ihmisen toimintaa ja välittävät tietoa eteenpäin.

Microsoft on kehittänyt yhteistyössä Cybercomin kanssa älykypärän, joka tarkkailee työntekijää sekä työntekijän sijaintia. Näiden tietojen avulla kypärä voi varoittaa työntekijää työpaikan riskitekijöistä, kuten esimerkiksi liikkuvista trukeista tai käynnissä olevista prosesseista. Kypärä sisältää myös ominaisuuden, jossa se lähettää hälytyksen ihmisen kaatuessa tai pudotessa. (Kopacz 2017)

Älykypärä on vain yksi esimerkki, kuinka työturvallisuutta voidaan parantaa teollisen internetin avulla. Työturvallisuuden ja työtapojen seuraaminen voi myös auttaa havaitsemaan tuotantoprosessista pullonkauloja. Tällaisia seurantatapoja ovat esimerkiksi liiketunnistimet, jotka mittaavat työntekijöiden käyttämää aikaa tiettyyn prosessivaiheeseen. Havaitsemalla nopeasti esimerkiksi hidastuvat prosessivaiheet, voidaan asiaan reagoida ja täten kasvattaa tehokkuutta. Työntekijöiden tehokkuutta voidaan myös verrata tehtyihin ennusteisiin. Kun saadaan realistista dataa, voidaan ennustemalleja korjata ja saada tarkempaa tietoa päätösten tueksi. (Fera, Greco et al. 2019)

Teollinen internet tulee muuttamaan esimiesten ja johtajien vastuualueita sekä työskentelytapoja. Tuotantoympäristön automatisoituessa tarve päivittäiselle johtamiselle vähenee, sillä esimerkiksi laitteiden välinen automaattinen kommunikointi korvaa osan tehtävistä. Tämä asettaa työntekijät itsenäisempään, enemmän asiantuntijatyypiseen rooliin työpaikalla. Esimiesten ja johtajien tehtäviä häviää työpaikoilta ja korvaavia tehtäviä saattaa ilmentyä yrityskohtaisesti. Johtajien rooli muuttuu perinteisestä auktoriteetista, joka määrää mitä tehdään enemmän mentorin tai valmentajan rooliin, joka pyrkii kasvattamaan työmoraalia sekä ohjaamaan työntekijöitä kohti itseohjautuvuutta. (Schuh, Anderl, Dumitrescu et al. 2020)

Kadir ja Broberg (2020) havaitsivat tutkimuksessaan, että implementoimalla uusia teknologioita työntekijöiden tehokkuus parani, joka näkyi tehtaiden tuotantomäärien kasvussa. Myös tuotteiden laatu parani sekä negatiiviset asiakaspalautteet vähenivät. Teollisen internetin

suurin vaikutus oli informaation saatavuuden paranemisesta. Tieto välittyi tehokkaammin yritysten sisällä, joka auttoi tunnistamaan ongelmakohtia tuotannossa nopeasti.

4 TEOLLINEN INTERNET TULEVAISUUDESSA

4.1 Teollisen internetin vaikutus omaisuudenhallintaan

Omaisuudenhallinnassa on monia eri rooleja. Eri rooleilla on eri vaatimuksia vaaditun tiedon suhteen, jotta tehtävät voidaan hoitaa tehokkaasti. Teollisen internetin avulla tietoa saadaan entistä tarkemmin ja kattavammin (Collin, Saarelainen 2016). Koneet ja laitteet tuottavat eniten dataa niiden käyttövaiheessa. Käyttövaihe on myös vaihe, jossa osataan eniten hyödyntää datan tuottamaa arvoa tällä hetkellä. Laitteesta kerättävää dataa olisikin mietittävä suunnitteluvaiheessa siten, että se palvelisi paremmin myös muita elinkaaren vaiheita (Uusitalo, Hanski et al. 2020).

Omaisuudenhallinta on tulevaisuuden suunnittelemista nykyhetken ja menneisyyden tietojen valossa (Hastings 2021 s.25-26). Teollinen internet mahdollistaa lisätarkkuuden suunnitelmaan, sillä se mahdollistaa uusia teknologiota koneiden seuraamiseksi. ISO 55000 standardi painottaa omaisuuden käytön tehokkuuden jatkuvaa seuranta dokumentoinnin avulla (International Organization for Standardization 2014 s. 7-8).

Sensoreista kerätyn datan avulla, dokumentointia laitteista ja koneista voidaan tehdä reaaliajassa. Tarkempi dokumentaatio tarkoittaa parempia päätöksiä koskien koneita. Päätökset koskevat koneiden ja laitteiden käyttövaiheessa useimmiten kunnossapitoa ja käyttöä. Esimerkiksi ennakoivan kunnossapidon tarve on tarkemmin selvillä, sillä sensorit keräävät jatkuvasti dataa laitteen kunnosta ja tekoälyn avulla koneen kunnan muutoksia voidaan helpommin ennustaa. Sensoreiden sekä simulaatioteknologian avulla koneista voidaan luoda digitaalinen kaksonen. Digitaalisen kaksosen avulla voidaan simuloida erilaisten kunnossapitoprosessien vaikutusta koneen käyttöasteeseen. Simuloimisen mahdollisuus on tärkeää tulevaisuudessa omaisuudenhallinnassa, sillä se mahdollistaa optimaalisen toimintatavan etsimisen haittaamatta käynnissä olevaa tuotantoa. (Kortelainen, Hanski et al. 2020)

Teollisen internetin datakeskeisyys luo uusia näkökulmia omaisuudenhallintaan. Dataa voidaan pitää myös tuotannon sivuvirtana syntyvänä raaka-aineena, jolla on arvoa. Tätä on pyrittävä

käsittelmään yhtenä omaisuuslajina, joka vaatii yritykseltä uusia toimia liittyen esimerkiksi datan käsittelyyn tai sen turvaamiseen. (Uusitalo, Hanski et al. 2020)

Toimintatapojen muutos aiheuttaa myös haasteita omaisuudenhallinnalle. Perinteisten omaisuudenhallinta prosessien, kuten kunnossapidon lisäksi tarvitaan myös uutta osaamista. Tarvittavat resurssit on tunnistettava ja niiden asettamat aukot on täytettävä osaavalla henkilöstöllä. (Seo, Evans 2020)

Teollinen internet tuo mukanaan uusia riskejä sekä haasteita. Riskien laajuus kasvaa tulevaisuudessa, sillä yksittäisten koneiden toiminta on automatisoiduissa tehtaissa liitetty osaksi suurempaa tuotantojärjestelmää. Myös riskit muuttavat muotoaan, sillä teollinen internet luo uuden mahdollisuuden tehtaan toiminnan ulkopuolisille häiriöille. Tuotantojärjestelmän häiriö esimerkiksi tilanteessa, jossa internetin käyttö häiriintyy, voi pysäyttää koko tehtaan toiminnan. Omaisuudenhallinnassa on tulevaisuudessa panostettava kyberturvallisuuteen ja huomioitava se yhtenä riskinä perinteisten riskien joukossa. (Seo, Evans 2020)

Data omaa myös samankaltaisen elinkaaren kuin fyysiset omaisuuslajit, eli se voi myös vanhentua tai olla korvattavissa paremmalla datalla. Elinkaaren arvioiminen ja seuraaminen on tulevaisuudessa tärkeää omaisuudenhallinnan kannalta, jotta voidaan toimia optimaalisella tavalla. Arvottoman datan keräämisellä ja säilyttämisellä hukataan resursseja ja aiheutetaan ylimääräisiä kustannuksia. (El Arass, Souissi 2018)

4.2 Älykkäät tehtaot

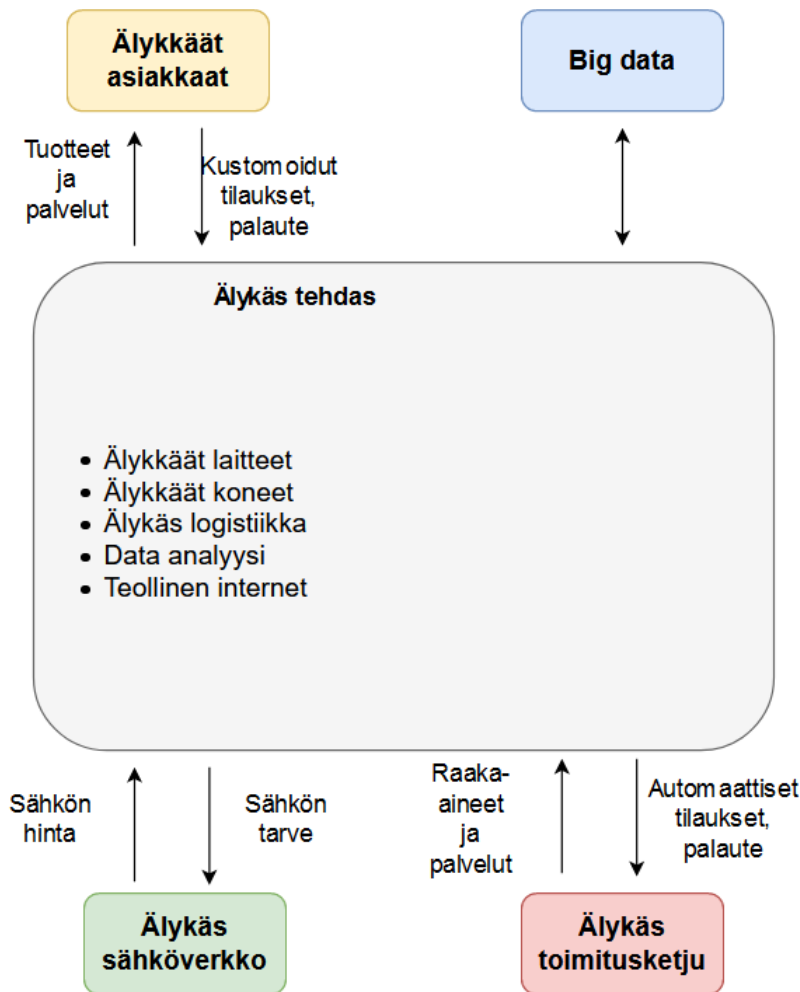
Neljäs teollinen vallankumous pitää sisällään monta uutta teknologiaa kuten kyberfysikaaliset tuotantojärjestelmät, teollisen internetin ja big datan. Kyseisten teknologioiden implementointi onnistuneesti mahdollistaa uudenaikaisen tehtaan, niin kutsutun älykkään tehtaan (Eng. Smart factory) luomisen. Älykkäässä tehtaassa laitteet, toimitusketju, varastot sekä asiakkaat ovat yhteydessä toisiinsa. Tämä mahdollistaa automatisoidun toiminnan aina raaka-aineen hankinnasta lopputuotteen kuljettamiseen asti. (Sevic, Keller 2021)

Älykkään tehtaan suurin etu perinteiseen tehtaaseen verrattuna on kyky tarkkailla ja optimoida omaa toimintaansa. Automaattinen päätöksenteko mahdollistaa vastuun siirtymisen joko kokonaan laitteelle tai pienemmälle määrälle henkilöitä. Tehtaan kustannustehokkuus sekä toimitusvarmuus on korkeampi kuin perinteisen tehtaan, sillä automaatioasteen kasvaessa

poistuu ihmisten tekemien virheiden ja aiheuttamien kustannusten määrä. (J. Li, F. R. Yu et al. 2017, Wang, Wan et al. 2016)

Kuvassa 8. on havainnollistettu älykkään tehtaan toimintaympäristöä sekä tehtaan interaktiota ympäristön kanssa. Tehtaan toiminnan ydin on älykkäissä laitteissa ja toiminnoissa tehtaan sisällä. Teollinen internet ja data-analytiikka mahdollistavat tehtaan toiminnan. Raaka-aineet sekä tehtaan tarvitsemat palvelut hankitaan älykkään toimitusketjun kautta. Älykäs toimitusketju tarkoittaa sitä, että ulkopuolisilta toimijoilta kerätään dataa reaaliaikaisesti esimerkiksi tuotteiden hintojen tai saatavuuden mukaan. Kerätyn datan ja automaation avulla tilaukset hoidetaan tehtaan tarpeiden mukaan kustannustehokkaimman toimittajan kanssa. (J. Li, F. R. Yu et al. 2017)

Älykkäillä asiakkaila kuvataan asiakkaan suurempia vuorovaikutusmahdollisuuksia tulevaisuudessa. Älykkäessä tehtaassa asiakkaila on mahdollisuus suorittaa kustomoituja tilauksia tehtaille. Uudet valmistusmenetelmät kuten 3D-tulostus mahdollistavat suuremman kustomointimahdollisuuden haittaamatta massatuotannon etuja (F. Shrouf, J. Ordieres et al. 2014). Älykkään sähköverkon avulla tehdas pystyy optimoimaan kustannuksiaan painottamalla toimintaa ajalle, jolloin sähkönhinta on alhaisempi. (J. Li, F. R. Yu et al. 2017)



Kuva 8. Älykkään tehtaan toimintaympäristö mukaillen (J. Li, F. R. Yu et al. 2017)

Älykäs tehdas ei ole vielä teknisesti toteutettavissa suuressa mittakaavassa. Toteutuessaan älykkään tehtaan tarjoamat mahdollisuudet olisivat ylivoimaiset perinteiseen tehtaaseen verrattuna. Koneiden käyttöaste olisi optimaalinen ja kustannukset mahdollisimman alhaiset. Jotta suuria tehtaita voitaisiin tulevaisuudessa muuttaa kokonaan älykkäiksi tehtaiksi, vaatisi se suuria kehitysharppauksia monissa eri teknologioissa. (Wang, Wan et al. 2016)

4.3 Haasteet teollisen internetin kehityksessä ja implementoinnissa

Teollisen internetin yleistymisen yhtenä suurimpana haasteena on standardisoinnin puute. Yhdistettyjen laitteiden määrän kasvaessa on tärkeää, että laitteet pystyvät operoimaan keskenään myös tulevaisuudessa. Ilman standardisointia yritys saattaa joutua tilanteeseen, jossa

uudet laitteet eivät kykene keskustelemaan vanhojen kanssa, sillä ne välittävät dataa eri tavalla. (Khan, Khan et al. 2012)

Ongelmaa pyritään ratkaisemaan aktiivisesti ja useita standardeja on kehitteillä käsittämään mm. tiedonvälitystä, kyberturvallisuutta sekä termistöä. Termistön yhtenäistäminen parantaa yhteistyön sujuvuutta eri toimijoiden välillä, mikä saattaa osaltaan kiihdyttää kehitystyötä. (S. Chen, H. Xu et al. 2014 s. 351-352)

Datan säilöminen sekä suojeleminen asettavat myös haasteita. Tietoturva on asia, johon yritysten on panostettava enemmän tulevaisuudessa, kun datasta tulee tärkeä osa tuotantoa. Verkottuneet järjestelmät voivat haavoittua laajalti, joka voi estää koko tehtaan toiminnan. Data voi pitää sisällään yrityksen kilpailuedun kannalta oleellisia liikesalaisuuksia ja näiden vuotaminen voi pahimmassa tapauksessa vaikuttaa yrityksen toiminnan jatkumiseen. Tietoturvan parantamiseksi on kehitetty useita standardeja ja protokollia, joiden avulla riskejä pyritään minimoimaan. (Collin, Saarelainen 2016)

Monet vanhat toimintatavat voivat osoittautua tehottomiksi uuden datamäärän kanssa. Yritysten on kehitettävä ohjelmia ja ohjelmistojaan, jotta korkea automaatioaste voidaan saavuttaa tehtaassa. Monien laitteiden ja ohjelmistojen on toimittava saumattomasti yhteen, mikä ei vielä ole mahdollista. Suurien ohjelmistokokonaisuuksien tueksi tarvitaan suuri määrä laskentatehoa tietokoneilta, joka voi osoittautua nopeasti toimivissa tuotantoympäristöissä haasteeksi. (Kang, Lee et al. 2016)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin teollisen internetin vaikutusta yrityksen kapasiteetin käyttöasteeseen sekä teollisen internetin mahdollisuuksia yrityksen omaisuudenhallinnassa. Työ rajattiin käsittelemään tehtaiden käyttöomaisuuden elinkaaren käyttövaihetta, eli sitä vaihetta, kun koneet ja laitteet ovat tuotantokäytössä. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat tehtaissa niiden kokonaistehokkuuteen eli siihen, kuinka tehokkaasti kapasiteettiä voidaan hyödyntää. Toisena tavoitteena oli tunnistaa tekijöitä, jotka vaikuttavat omaisuudenhallintaan tässä kyseisessä elinkaaren vaiheessa, sekä teollisen internetin tarjoamia mahdollisuuksia kyseisessä asiassa. Johdannossa esitettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

- *Kuinka teollisen internetin avulla voidaan saavuttaa käyttöomaisuudelle korkeampi käyttöaste tuotantolaitoksissa?*
- *Kuinka teollinen internet tulee muuttamaan omaisuudenhallintaa tulevaisuudessa?*

Tehtaan käyttöomaisuuden käyttöasteeseen vaikuttaa yrityksen kyvykkyys realisoida omia tuotantopanoksiaan. Panostamalla kyvykkyyteen sekä kokonaistehokkuuteen tehtaot voivat nähdä parannusta kapasiteetin käyttöasteessaan. Kyvykkyuden sekä kokonaistehokkuuden muuttujien: käytettävyyden, toiminta-asteen sekä laatueroimen painoarvo vaihtelee yritysokohtaisesti. Siksi onkin tärkeää, että teollisen internetin sovelluksilla pyritään parantamaan toiminnan kannalta kriittisimpiä osa-alueita.

Tutkimusta suoritettiin etsimällä tietoa teollisen internetin mahdollisuuksista sekä uusista sovelluksista, joilla voidaan vaikuttaa tehtaan kapasiteetin käyttöasteeseen, kokonaistehokkuuden sekä kyvykkyuden kautta. Tutkimuksessa havaittiin, että mahdollisuuksia on yhtä monta, kuin on yrityksiä eikä yhtä oikeaa kaavaa ole. Teollisen internetin implementointi vaatii yritykseltä aktiivisuutta selvittää tuotantonsa pullonkaulat ja kriittisimmät vaiheet, joihin halutaan teollisen internetin avulla vaikuttaa. Taulukossa 1. on esitetty teollisen internetin mahdollistamia teknologisia ratkaisuja ja niiden tarjoamia hyötyjä tehtaiden kapasiteetin käyttöasteen optimoinnissa.

Taulukko 1. Työn tulokset tehtaan kokonaistehokkuuden parantamisessa

MENETELMÄ	TAVOITELTU HYÖTY
Lisätty todellisuus	Suoraviivaisempi kunnossapitoprosessi, tarkkuuden ja tehokkuuden kasvu
Älykäs logistiikka	Varaosien saatavuuden parantaminen, viiveiden vähentäminen, varastoinnin tarpeen pieneneminen
Laitekannan hallinta	Tuotannon jakaminen, laajempi datan keräys sekä vertailu
Data-analyysi	Ennustaminen ja automaattinen sopeutuminen. Riskien pienentäminen. Pullonkaulojen tunnistaminen. Tietoisemmat päätökset. Työturvallisuuden parantuminen. Optimoidut tuotantosuunnitelmat
Mukautuva tuotannosuunnittelu	Reaaliaikaisesti muuttuva tuotantosuunnitelma. Ennakoitavuus ja riskittömyys parantuu, kun käytössä reaaliaikaista dataa
Integraatio	Sopeutuminen ja mukautuminen muuttuvissa olosuhteissa.
Automaattinen mukautuminen	Nopea reagointi ongelmatilanteeseen. Hävikin väheneminen.
Automaattinen kuvaprosessointi	Virheiden nopeampi havaitseminen, koneiden automaattinen mukautuminen

Tuloksista on havaittavissa, että datan avulla käyttöomaisuudelle voidaan saavuttaa parannuksia käyttöasteen suhteen monella eri osa-alueilla. Ideaalitalanteessa tehdas voisi implementoida mahdollisimman monta esiteltyä ratkaisua ja muuttua tavallisesta tehtaasta kohti älykästä tehdasta. Koko tehdasta ei kuitenkaan pystytä nopeasti muuttamaan, joten yritysten täytyy löytää omalle toiminnalleen eniten hyötyä tuovat toimenpiteet.

Toisessa tutkimuskysymyksessä pohdittiin teollisen internetin vaikutusta yritysten omaisuudenhallintaan. Yrityksen käyttöomaisuuden hallinnan ytimessä on omaisuudesta saatavan arvon maksimointi koko elinkaaren ajan. Tämä tarkoittaa käytännössä käyttöomaisuuden toimintavarmuutta, elinkaaren maksimointia sekä kustannustehokkuutta. Teollisen internetin avulla dataa saadaan entistä tarkemmin ja laajemmin. Tämä on hyödyllistä etenkin omaisuudenhallinnassa, jossa ajantasainen tieto omaisuuden tilasta sekä kunnosta auttaa tekemään parempia päätöksiä. Teollisen internetin mahdollistamat digitaaliset kakso-

tulevat varmasti tulevaisuudessa muuttamaan omaisuudenhallintaa entistä tehokkaammaksi, sillä sen tarjoamat tarkemmat ennusteet takaavat parhaiden mahdollisten ratkaisujen syntymisen. Teollisen internetin tuomia mahdollisuuksia yritysten omaisuudenhallintaan on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Teollisen internetin mahdollisuudet omaisuudenhallinnassa

MENETELMÄ	TAVOITELTU HYÖTY
Datan keräys	Reaaliaikainen tieto koneiden ja laitteiden tilasta. Tarkemmat kustannusarviot. Riskien tunnistaminen.
Dokumentoinnin parantuminen	Enemmän tietoa, jonka pohjalta tehdä päätöksiä.
Data-analyysi	Tulevaisuuden ennustaminen historiallisen datan avulla.
Digitaalinen kaksonen	Optimointi simuloinnin kautta. Riskien tunnistaminen.

Haasteeksi työssä nousi asian tuoreus. Neljäs teollinen vallankumous on alkutekijöissään eikä tarkkaa dataa esimerkiksi teollisen internetin implementoinnin hyödyistä yrityksille ollut. Tämän johdosta tutkimuksessa ei käytetty numeraalista dataa kuvaamaan saatuja hyötyjä, sillä luotettavia ja tarpeeksi laajoja tutkimuksia niistä ei ollut. Jatkotutkimuksien kannalta tulevaisuudessa on saatavilla paremmin dataa yritysten taloudellisen tilanteen kehittymisestä teollisen internetin implementoinnin jälkeen. Tämän datan avulla on mahdollista esimerkiksi verrata yrityksen kuluja ja tuotantomääriä sekä selvittää missä tehokkuuden kasvu yrityksessä näkyy.

LÄHTEET

Al-Dahidi, S., Di Maioi, F., Baraldi, P. & Zio, E. 2016. Remaining useful life estimation in heterogeneous fleets working under variable operating conditions. *Reliability Engineering & System Safety*, **156**, s. 109-124.

Antosz, K. & Ratnayake, R.C. 2019. Spare parts' criticality assessment and prioritization for enhancing manufacturing systems' availability and reliability. *Journal of Manufacturing Systems*, **50**, s. 212-225.

British standards institution, 2008. Specification for the optimized management of physical assets PAS 55-1:2008.

Bueno, A.F., Godinho Filho, M. & Frank, A.G. 2020. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering* 149.

Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E. & Ivkovic, M. 2011. Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, **51**(1), s. 341-377.

Chen, Y. 2017. Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*, **3**(5), s. 588-595.

Colledani, M., Tolio, T., Fischer, A., Iung, B., Lanza, G., Schmitt, R. & Váncza, J. 2014. Design and management of manufacturing systems for production quality. *CIRP annals*, **63**(2), s. 773-796.

Collin, J. & Saarelainen, A. 2016. *Teollinen internet*. Helsinki: Talentum.

Cortez, P. & Barnstedt, E. 2019. Deep Dive: Industrial IoT. Microsoft. [Video], [Viitattu 17.3.2021], Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=QRBMVngtVhA>

Crespo Márquez, A., Macchi, M. & Parlikad, A.K. 2020. *Value Based and Intelligent Asset Management Mastering the Asset Management Transformation in Industrial Plants and Infrastructures*. Springer International Publishing.

El Arass, M. & Souissi, N. 2018 Data lifecycle: from big data to SmartData, 2018 IEEE 5th international congress on information science and technology (CiSt) 2018, IEEE, s. 80-87.

F. Shrouf, J. Ordieres & G. Miragliotta, 2014 Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm, - 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2014, s. 697-701.

Fera, M., Greco, A., Caterino, M., Gerbino, S., Caputo, F., Macchiaroli, R. & D'Amato, E. 2019. Towards Digital Twin Implementation for Assessing Production Line Performance and Balancing. Sensors (Basel, Switzerland), **20**(1) s.97

Hastings, N.A.J. 2021. Physical Asset Management With an Introduction to the ISO 55000 Series of Standards. Springer International Publishing.

IIC, 2021 Industrial Internet Consortium (IIC) – Vocabulary [WWW-dokumentti]. [viitattu 25.3.2021]. Saatavilla: <https://hub.iiconsortium.org/vocabulary>

Ingrao, C., Evola, R.S., Cantore, P., De Bernardi, P., Del Borghi, A., Vesce, E. & Beltramo, R. 2021. The contribution of sensor-based equipment to life cycle assessment through improvement of data collection in the industry. Environmental Impact Assessment Review 88 s.106569

International organization for standardization, 2014. Asset management — Overview, principles and terminology (ISO 55000:2014)

J. Li, F. R. Yu, G. Deng, C. Luo, Z. Ming & Q. Yan. 2017. Industrial Internet: A Survey on the Enabling Technologies, Applications, and Challenges. IEEE Communications surveys and tutorials 19, s.1504–1526

Johnson, P.D., 2002. Principles of controlled maintenance management. Lilburn, Georgia :: The Fairmont Press, Inc.

Juhanko, J., Jurvansuu, M., Ahlqvist, T., Ailisto, H., Alahuhta, P., Collin, J., Halen, M., Heikkilä, T., Kortelainen, H., Mäntylä, M., Seppälä, T., Sallinen, M., Simons, M. & Tuominen, A. 2015. Suomalainen teollinen internet – haasteesta mahdollisuudeksi Taustoittava kooste. ETLA raportit, (42),

Kadir, B.A. & Broberg, O., 2020. Human well-being and system performance in the transition to industry 4.0. International Journal of Industrial Ergonomics, **76**, s. 102936.

Kang, H.S., Lee, J.Y., Choi, S., Kim, H., Park, J.H., Son, J.Y., Kim, B.H. & Noh, S.D., 2016. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, **3**(1), s. 111-128.

Khan, R., Khan, S.U., Zaheer, R. & Khan, S., 2012. Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges. 10th International Conference on Frontiers of Information Technology. IEEE. s. 257-260

Kopacz, T. 2017, Smart Helmet by Cybercom: A civil-works management and monitoring solution on Azure. [WWW-dokumentti]. [viitattu 28.3.2021]. Saatavilla: <https://microsoft.github.io/techcasestudies/iot/2017/03/21/Cybercom.html>

Kortelainen, H., Hanski, J. & Valkokari, P. 2020. Advanced technologies for effective asset management - two cases in capital intensive branches. IFAC-PapersOnLine, **53**(3), s. 7-12.

- Kumar, U., Galar, D., Parida, A., Stenström, C. & Berges, L. 2013. Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review. *Journal of quality in maintenance engineering*, **19**(3), s. 233-277.
- Lloyd, C. & Corcoran, M. 2019. *Asset Management - Adding Value to Asset Dependent Businesses* (2nd Edition). ICE Publishing.
- Pasman, H.J. 2021. Early warning signals noticed, but management doesn't act adequately or not at all: a brief analysis and direction of possible improvement. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* **70**(2021) s. 104272
- Pwc, 2015. Industry 4.0: Building the digital enterprise. [WWW-dokumentti]. [viitattu 1.4.2021]. Saatavilla: <https://www.pwc.com/id/en/CIPS/assets/industry-4.0-building-your-digital-enterprise.pdf>
- Pwc, 2020. Käyttöomaisuuden käsittely yhteisöveroilmoituksessa. [WWW-dokumentti]. [viitattu 27.4.2021]. Saatavilla: <https://uutishuone.pwc.fi/kayttoomaisuuden-kasittely-yhteisoveroilmoituksessa>
- Ragan, J.F. 1976. Measuring capacity utilization in manufacturing. Federal Reserve Board New York Quarterly Review,
- Rahmatov, N., Paul, A., Saeed, F., Hong, W., Seo, H. & Kim, J. 2019. Machine learning-based automated image processing for quality management in industrial Internet of Things. *International journal of distributed sensor networks*. **15**(10)
- S. Chen, H. Xu, D. Liu, B. Hu & H. Wang, 2014. A Vision of IoT: Applications, Challenges, and Opportunities With China Perspective. *IEEE internet of things journal* **1**(4) s.349–359
- Sadovnikova, A. & Pujari, A. 2017. The effect of green partnerships on firm value. *Journal of the Academy of Marketing Science*, **45**(2), s. 251-267.
- Scheffer, S., Martinetti, A., Damgrave, R., Thiede, S. & Van Dongen, L. 2021. How to make augmented reality a tool for railway maintenance operations: Operator 4.0 perspective. *Applied Sciences*, **11**(6), s. 2656
- Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R. & Ten Hompel, M. 2020. Using the Industrie 4.0 Maturity Index in Industry. Current challenges, case studies and trends. acatech – National Academy of Science and Engineering.
- Schuh, G., Anderl, R., Krüger, A. & Ten Hompel, M. 2020. Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies. acatech – National Academy of Science and Engineering.
- Seo, W.J. & Evans, N. 2020. *Internet of Things Adoption Challenges in Enterprise Asset Management Organisations*. Cham: Springer International Publishing.

Sevic, M. & Keller, P. 2021. Model of smart factory using the principles of industry 4.0. *MM Science Journal*, **2021**(March), s. 4238-4243.

Swamidass, P.M. 2000. *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Springer Science & Business Media.

Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M. & Kiritsis, D. 2010. Product lifecycle management - From its history to its new role. *Int. J. of Product Lifecycle Management*, **4**, s. 360-389.

The Institute of Asset Management, 2015. *Asset Management - an anatomy*.

Too, E. 2010. *A Framework for Strategic Infrastructure Asset Management. Definitions, Concepts and Scope of Engineering Asset Management*. London: Springer London. s. 31–62

Uusitalo, T., Hanski, J., Kortelainen, H. & Ahonen, T. 2020. Real Value of Data in Managing Manufacturing Assets. *14th WCEAM Proceedings*, s.164-174

Wang, S., Wan, J., Li, D. and Zhang, C., 2016. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, **12**(1), s. 3159805

Wireman, T. 2015. *Benchmarking Best Practices in Maintenance, Reliability and Asset Management: Updated for ISO 55000*. Industrial Press, Inc.

Y. Zhang, W. Wang, N. Wu & C. Qian. 2016. IoT-Enabled Real-Time Production Performance Analysis and Exception Diagnosis Model. *IEEE transactions on automation science and engineering*, **13**(3), s.1318-1332

Liite 1. Tuotannon kyvykkyyteen vaikuttavat tekijät (Hastings 2021 s.66)

Koneet ja laitteet

Henkilöstö

Johtaminen

Kunnossapito

Hyödykkeet esim. Sähkö, Vesi

Infrastruktuuuri esim. Rakennukset

Tukitoiminnot esim. Työpaikkaruokailu

Logistiikka

Ympäristö

Turvallisuus ja terveys

Koulutus

Kommunikaatio ja tietoliikenne